



Aalto University
School of Engineering

Asuinkerrostalojen energiaremontointi ja kustannusoptimaaliset päästövähennykset

*Janne Hirvonen
Juha Jokisalo, Juhani Heljo, Risto Kosonen*

Kohti kunnianhimoisempaa korjausrakentamista 9.4.2019

Taustaa

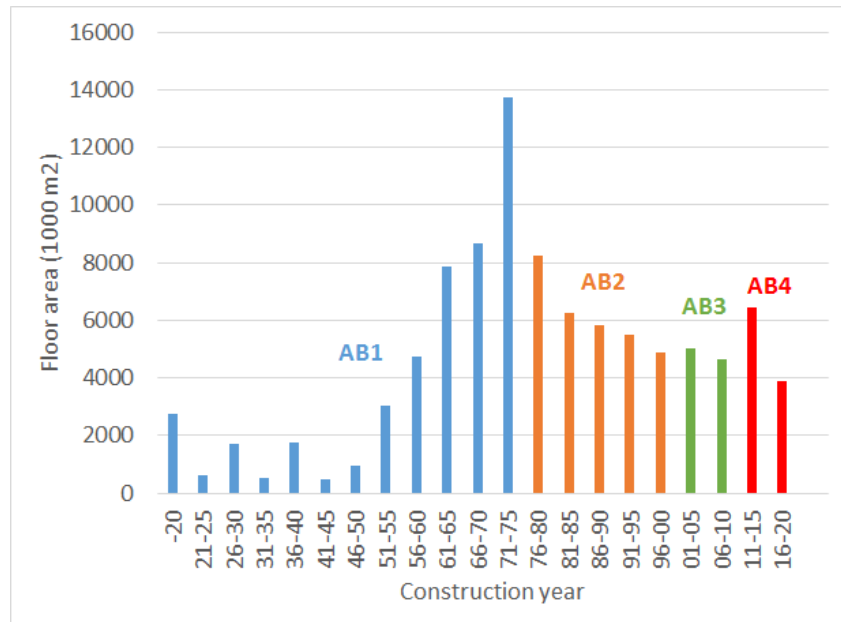
- **EU:n ilmastotavoitteet**
 - CO₂-päästöjä vähennettävä
 - -40% 2030 mennessä
 - -80% 2050 mennessä
- **Rakennuksista johtuu 30-40% energiankulutuksesta ja päästöistä**
- **Energy Performance of Buildings Directive (EPBD)**
 - Uusien rakennusten pitää olla lähes nollaenergiarakennuksia vuoteen 2020 mennessä
 - *Pieni energiankulutus*
 - *Korkea uusiutuvan energian osuus*
 - Strategia nykyisten rakennusten energiakorjauksiin

Optimal transformation pathway towards the 2050 low-carbon target

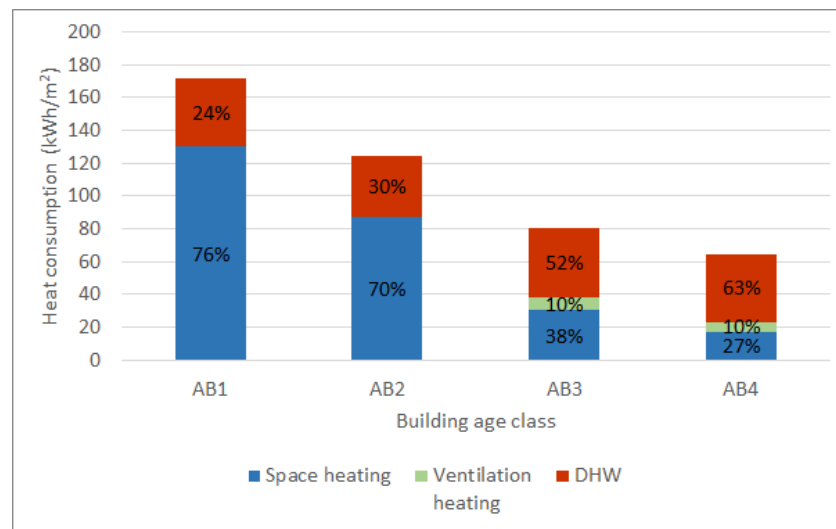
- **Suomen Akatemian projekti**
 - Neljä tutkimusryhmää
 - *Aalto-yliopisto*
 - *Tampereen yliopisto*
- **WP1: Rakennukset**
 - Risto Kosonen (Aalto ENG)
- **WP2: Rakennuskanta**
 - Arto Saari (TTY)
- **WP3: Voimalaitokset ja kaukolämpö**
 - Sanna Syri (Aalto ENG)
- **WP4: Energiaverkot**
 - Matti Lehtonen (Aalto ELEC)

Asuinkerrostalot Suomessa

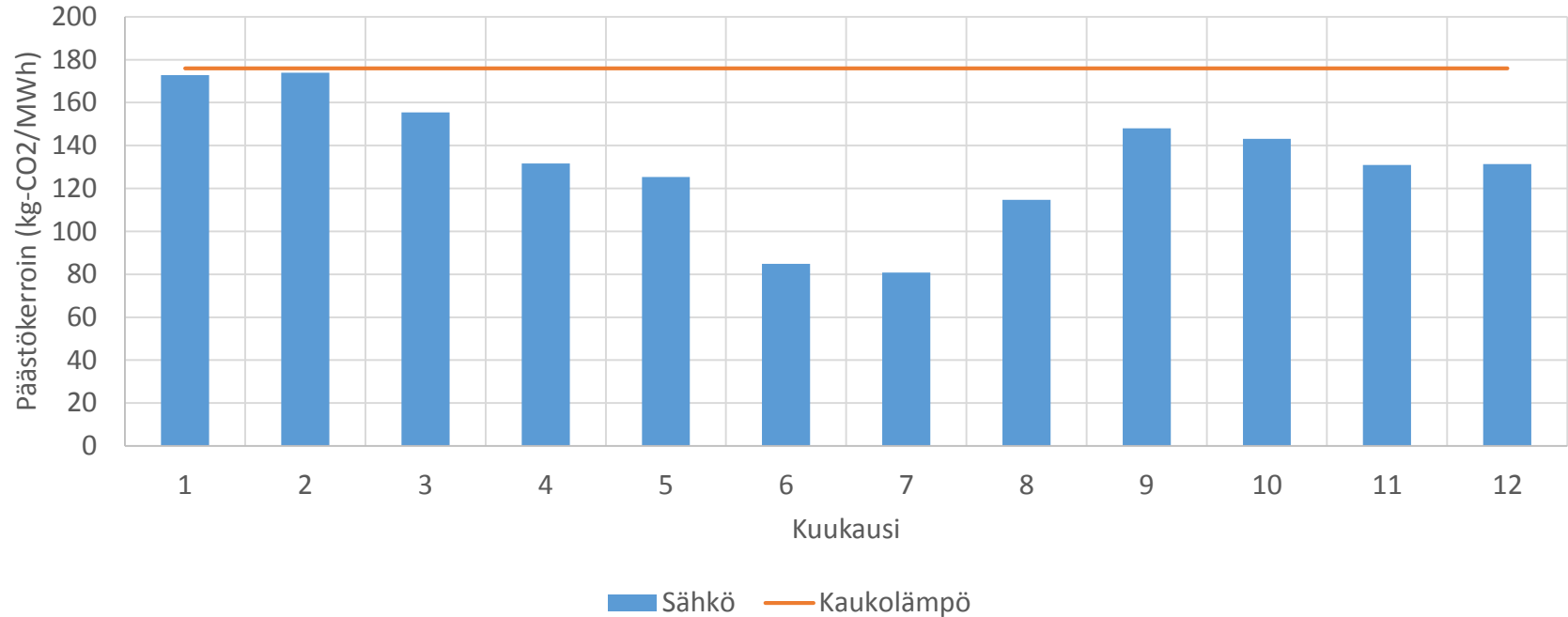
47% asunnoista kerrostaloissa



Vertailurakennukset

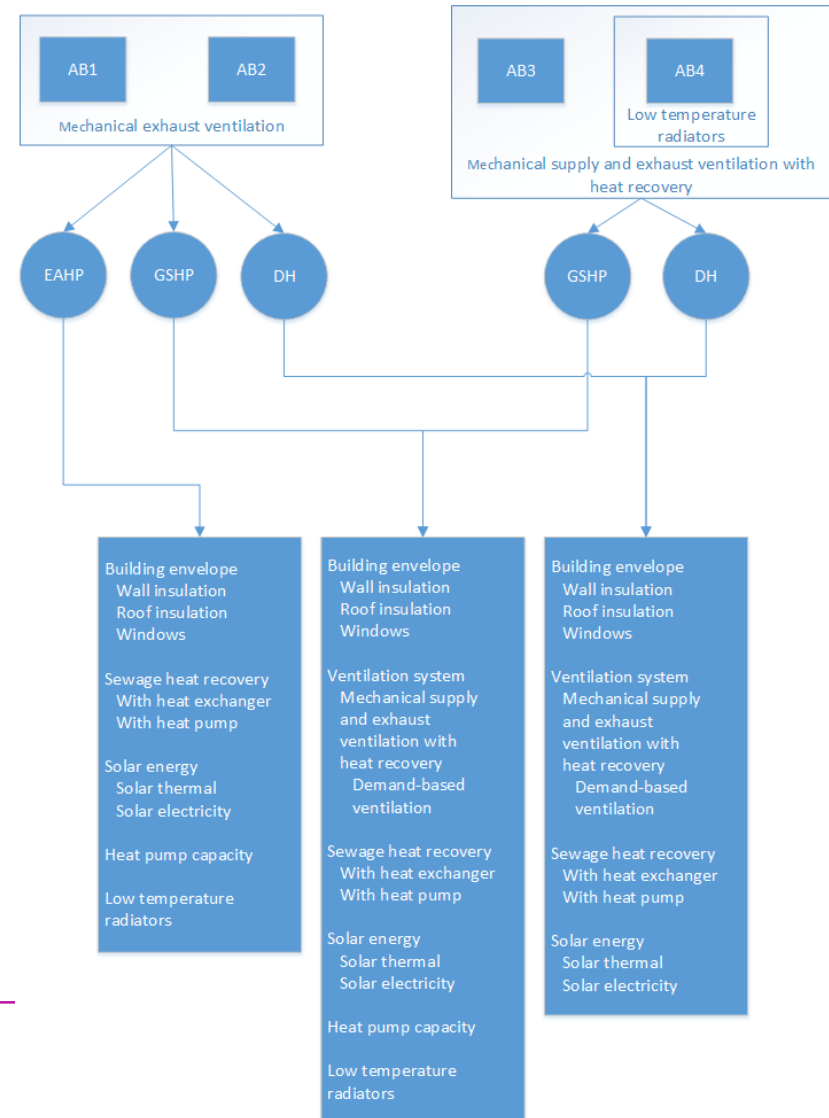


Energiantuotannon päästöt Suomessa

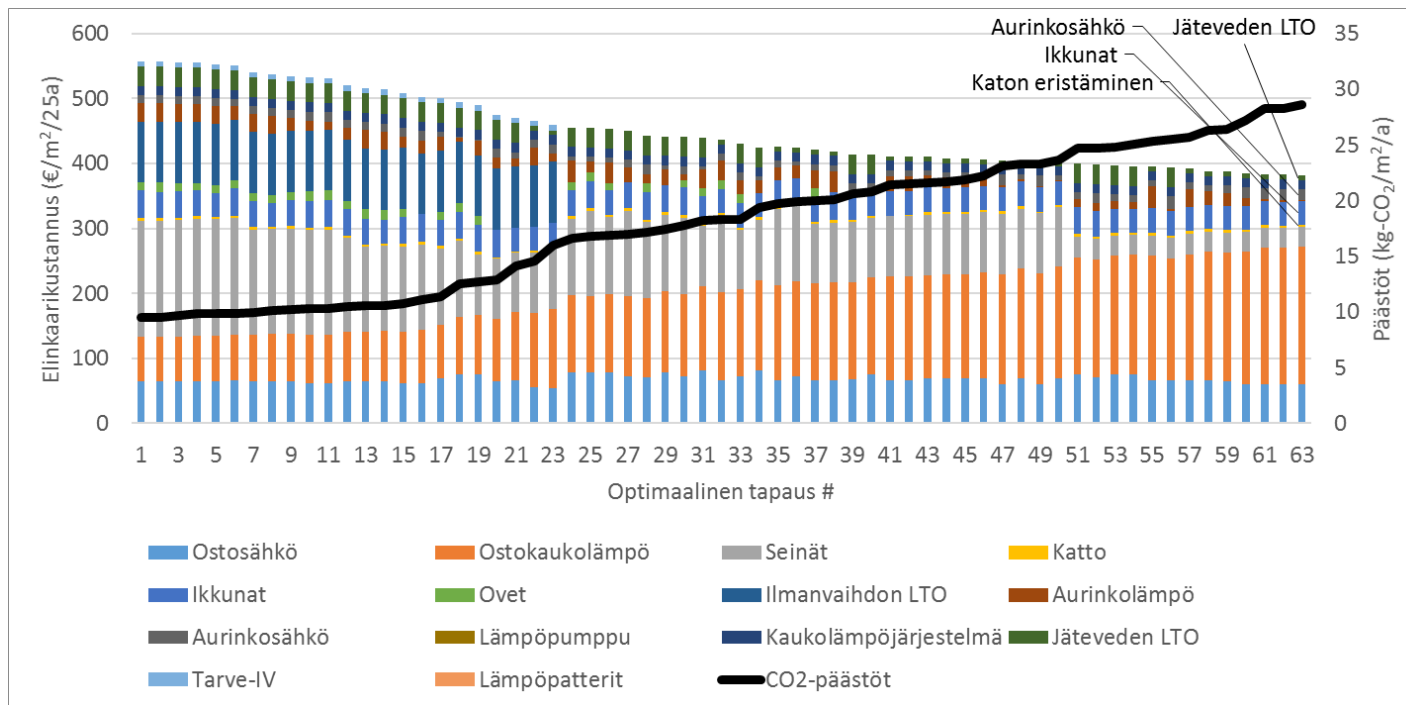


Optimointi

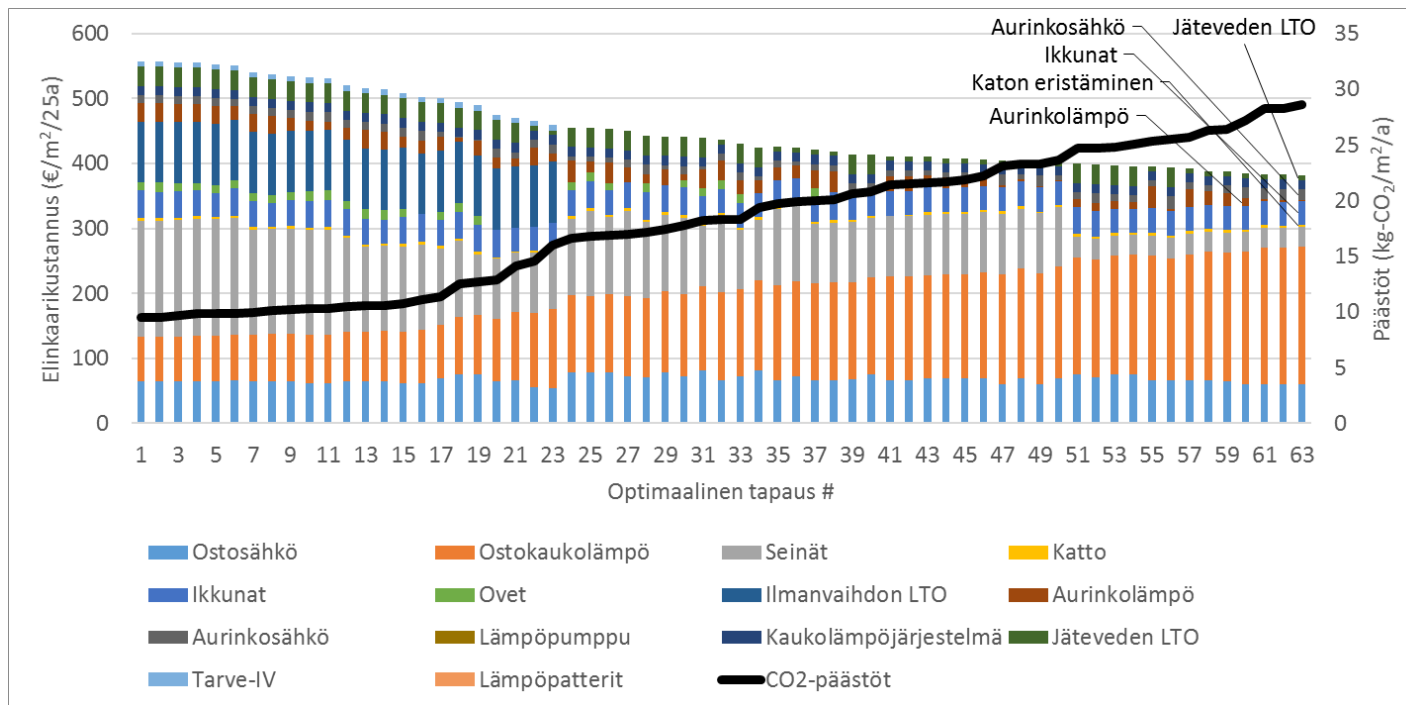
- **Optimaaliset energiakorjaukset**
 - Minimoidaan päästöt ja elinkaarikustannukset (LCC)
 - MOBO (geneettinen algoritmi)
- **Neljä ikäluokkaa**
- **Kolme lämmitysjärjestelmää**
 - Kaukolämpö
 - Poistoilmalämpöpumppu
 - Maalämpöpumppu



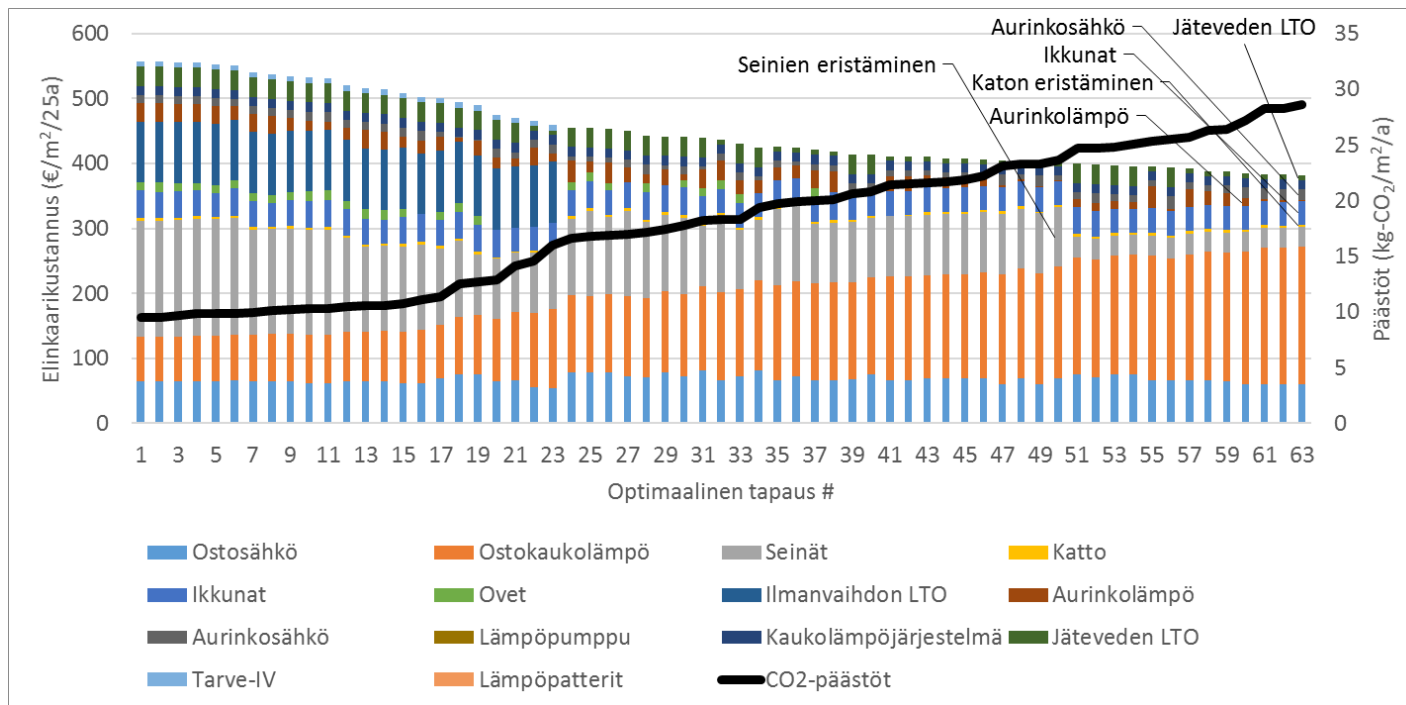
AB1 – Kaukolämpö, optimaaliset ratkaisut



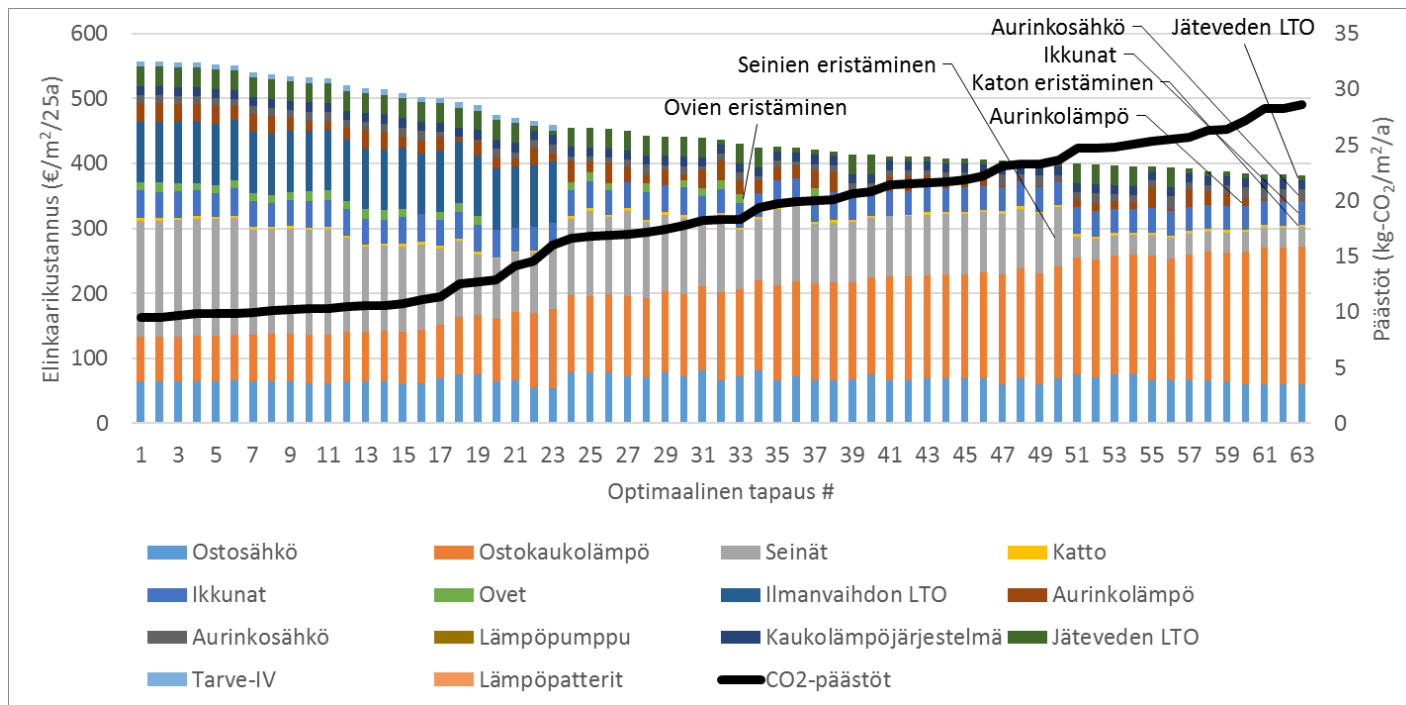
AB1 – Kaukolämpö, optimaaliset ratkaisut



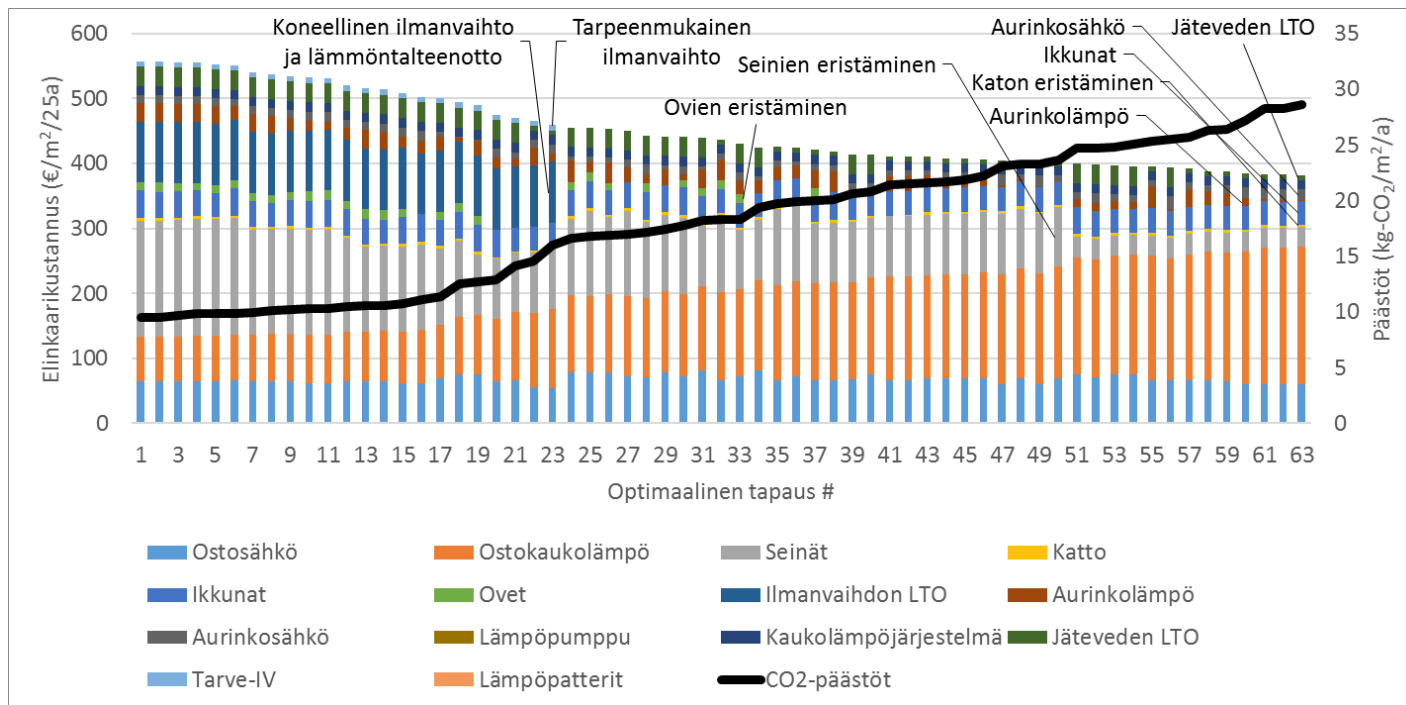
AB1 – Kaukolämpö, optimaaliset ratkaisut



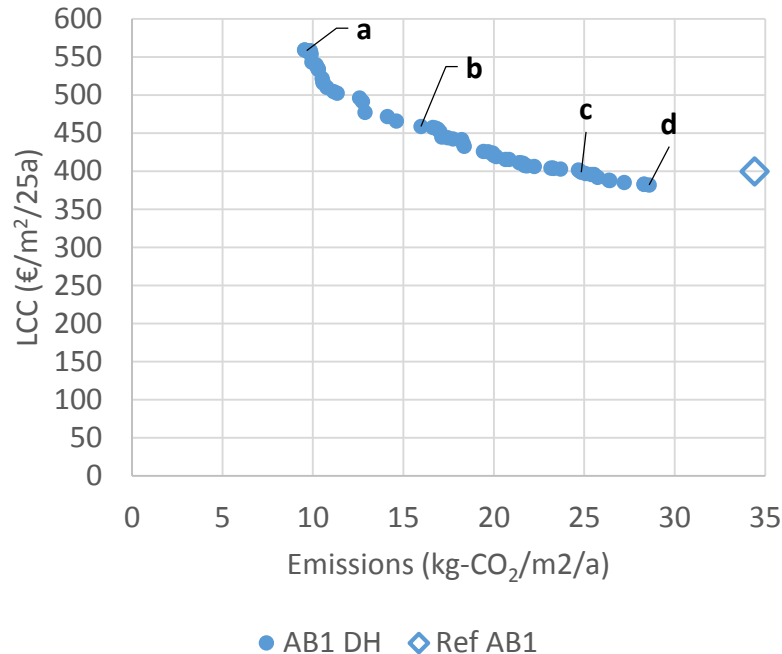
AB1 – Kaukolämpö, optimaaliset ratkaisut



AB1 – Kaukolämpö, optimaaliset ratkaisut

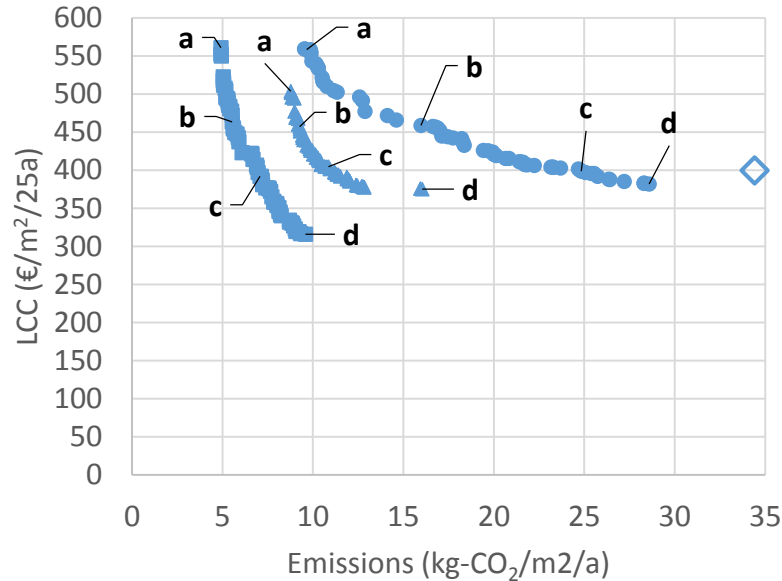


Optimointitulokset



- **Monta Pareto-optimaalista ratkaisua**
 - a: kallein
 - b: keskiverto
 - c: kustannusneutraali
 - d: halvin

Optimointitulokset

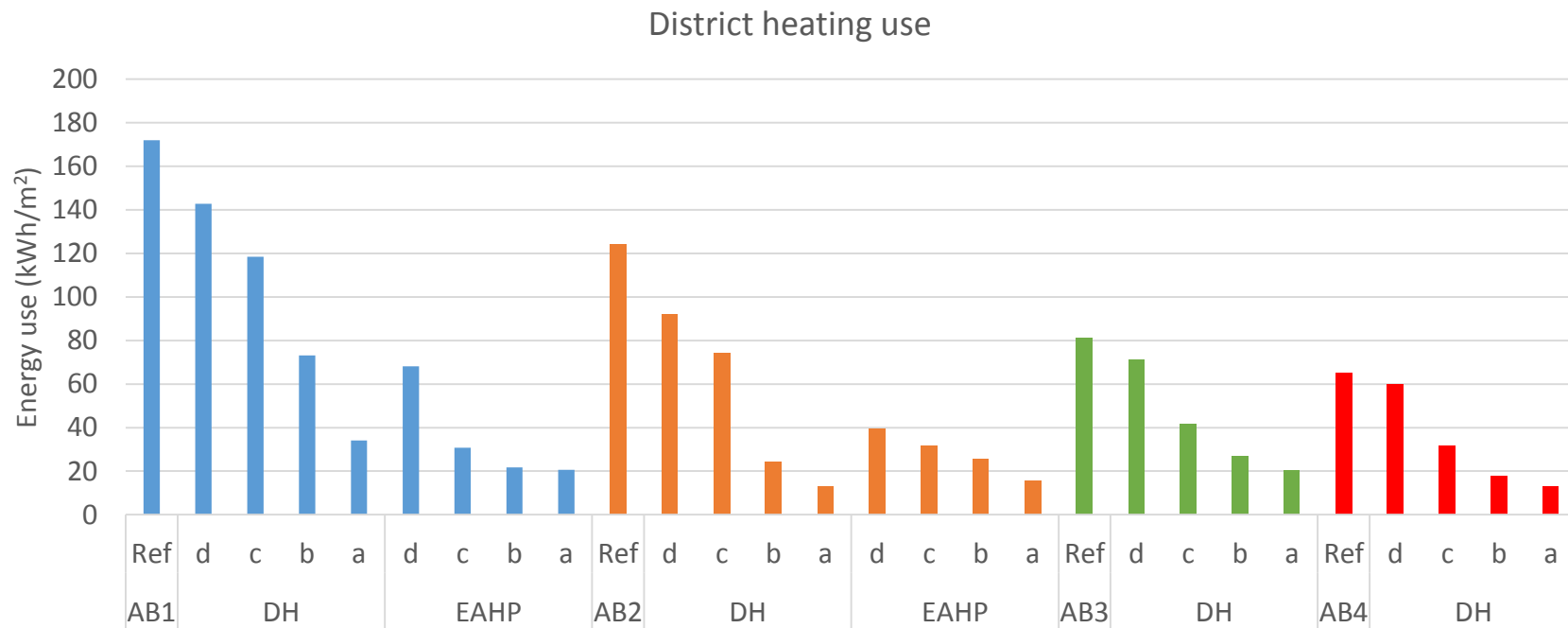


- **Monta Pareto-optimaalista ratkaisua**

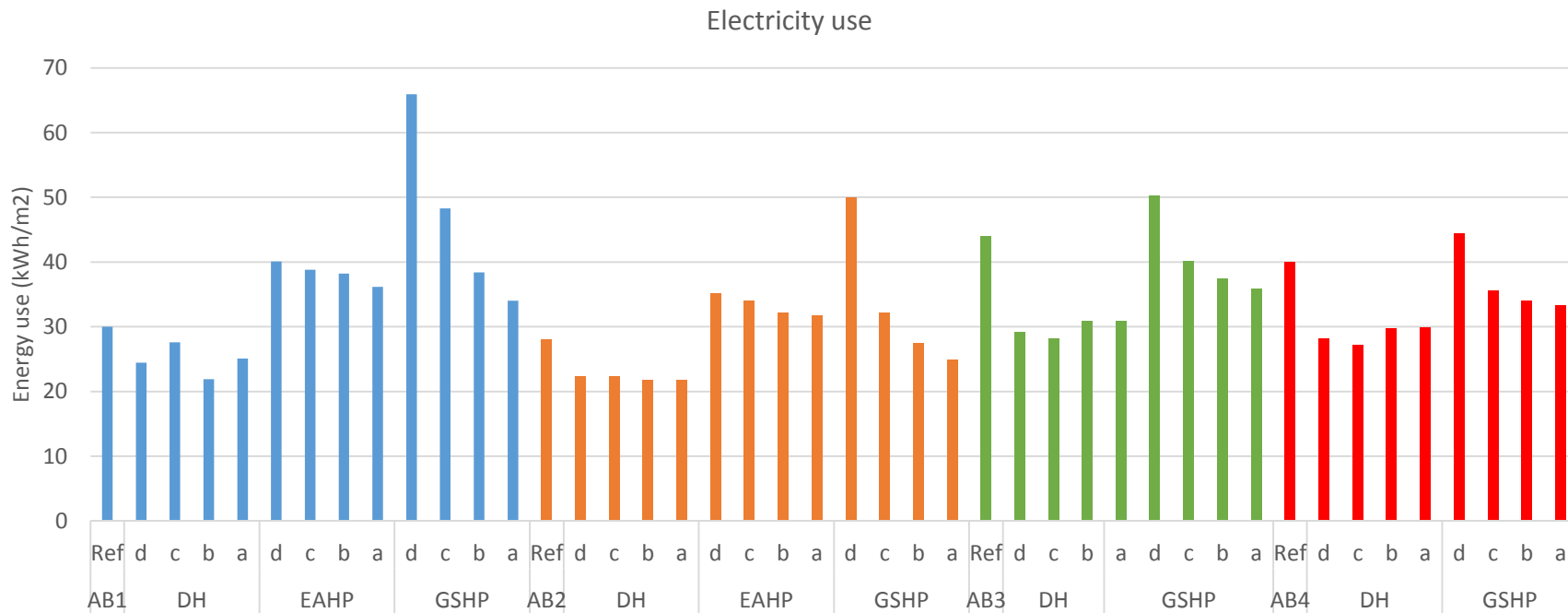
- a: kallein
- b: keskiverto
- c: kustannusneutraali
- d: halvin

● AB1 DH ■ AB1 GSHP ▲ AB1 EAHP ◇ Ref AB1

Kaukolämmön kulutus optimoiduissa tapauksissa

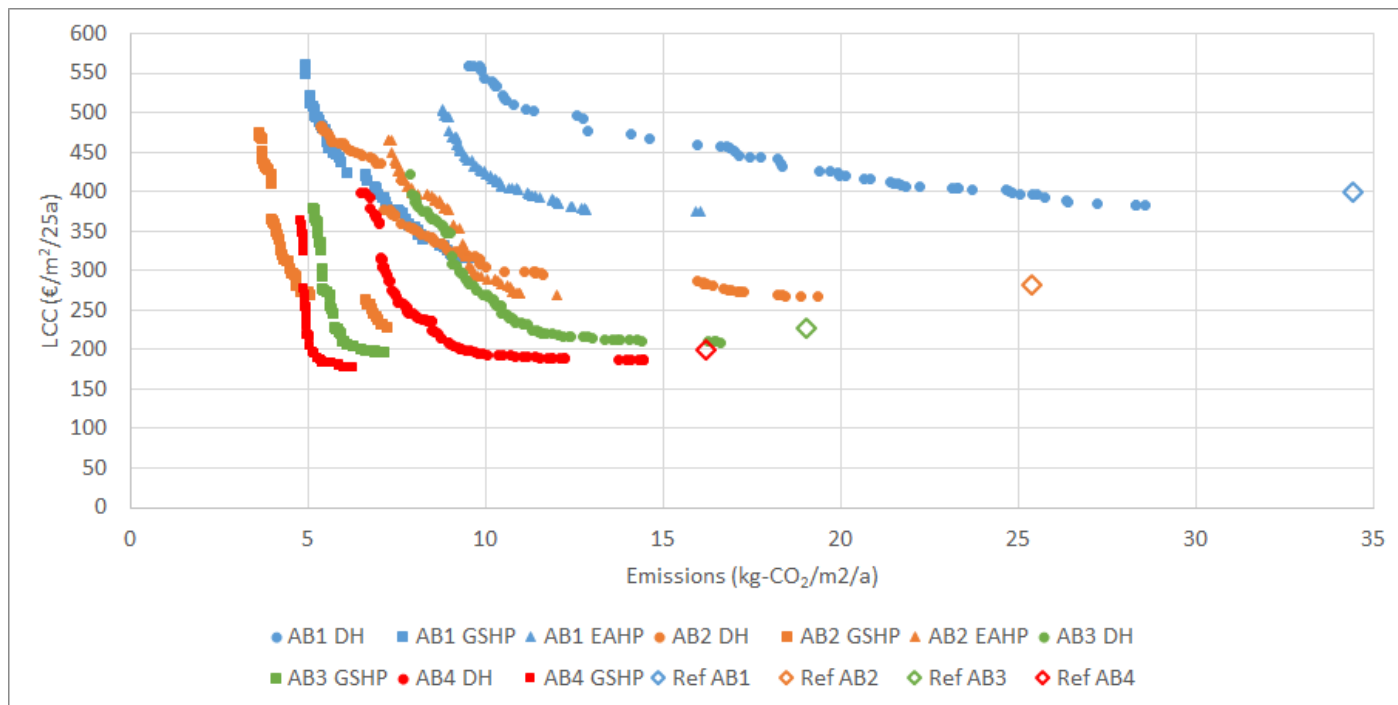


Sähköenergian kulutus optimoiduissa tapauksissa

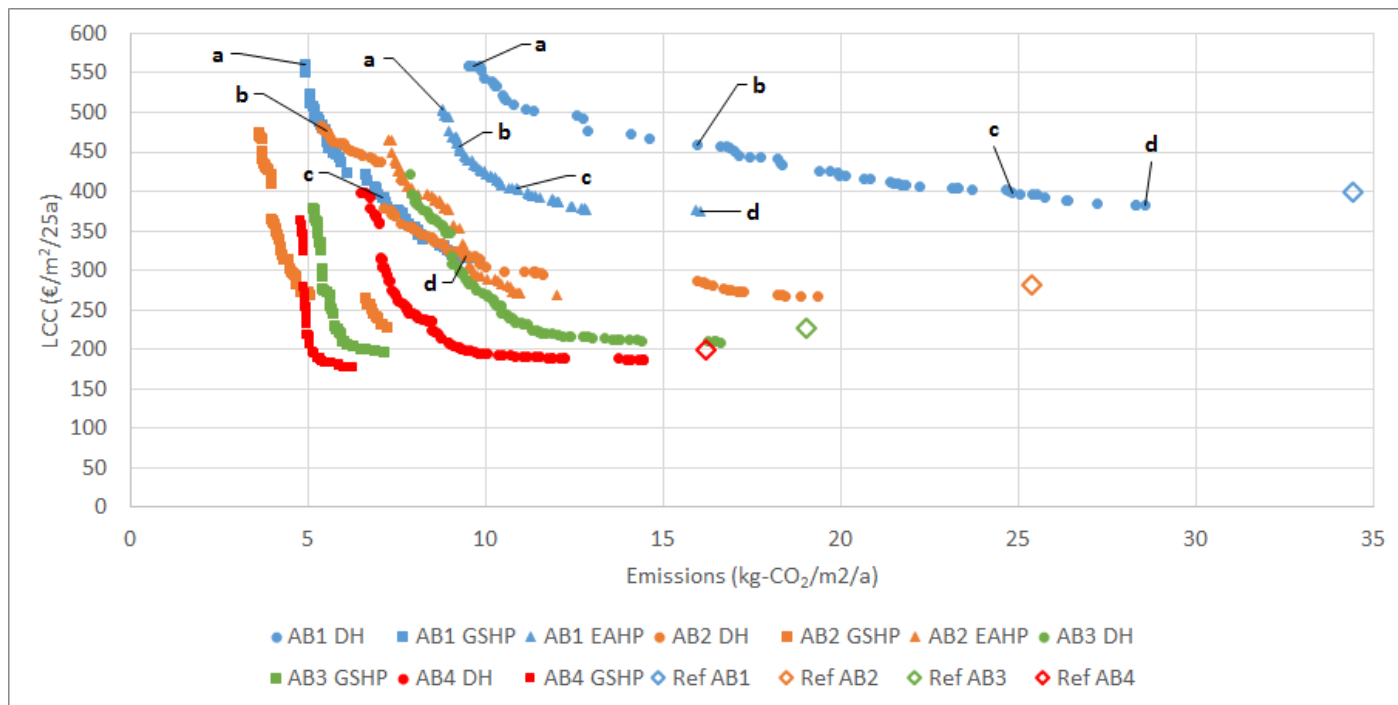


	(kg-CO ₂ /m ² /a)	(kg-CO ₂ /m ² /a)	(%)	(€-LCC/kg-CO ₂ /m ² /a)	(€/m ² /25a)	(€/m ²)	U-values (W/m ² K)				(m ²)	(kW _p)	(kW _{th})		(°C)	
Solution type	Emissions	Emission reduction	Relative reduction	Reduction cost	LCC	Investment cost	Walls	Roof	Doors	Windows	ST	PV	HP	Ventilation	Radiators	Sewage HR
Apartment building (AB1) with district heating (DH)																
Ref	34.4	-	-	-	400		0.81	0.47	2.2	1.7	0	0	0	No HR	70/40	No HR
a	9.5	24.9	72	6.41	559	498	0.1	0.06	1	0.6	125	25	0	HR+DBV	70/40	Active HR
b	16.0	18.4	54	3.21	459	339	0.36	0.08	2.2	0.8	55	30	0	HR+DBV	70/40	Passive HR
c	24.7	9.7	28	0.07	400	156	0.81	0.08	2.2	0.7	55	30	0	No HR	70/40	Active HR
d	28.6	5.8	17	-3.04	382	122	0.81	0.1	2.2	0.8	5	35	0	No HR	70/40	Passive HR
Apartment building (AB1) with a ground-source heat pump (GSHP) and electric backup heating																
a	4.9	29.5	86	5.46	561	545	0.1	0.06	0.7	0.6	145	20	115	HR+DBV	45/35	Passive HR
b	5.5	28.9	84	2.70	478	443	0.23	0.1	0.7	0.8	0	35	115	HR+DBV	45/35	Passive HR
c	7.0	27.4	80	-0.10	397	296	0.36	0.08	0.7	0.7	60	35	110	No HR	45/35	Active HR
d	9.6	24.8	72	-3.37	316	155	0.81	0.13	2.2	0.8	0	30	135	No HR	70/40	Passive HR
Apartment building (AB1) with an exhaust air heat pump (EAHP) and district heating backup																
a	8.8	25.6	75	4.05	504	399	0.1	0.06	0.7	0.6	90	30	39	No HR	45/35	Active HR
b	9.3	25.1	73	2.06	451	338	0.13	0.06	0.7	0.6	75	30	39	No HR	70/40	Active HR
c	10.9	23.5	68	0.07	401	265	0.23	0.1	1	0.8	0	40	35	No HR	70/40	Active HR
d	17.7	16.8	49	-2.68	355	143	0.81	0.19	2.2	0.8	0	35	35	No HR	70/40	Active HR

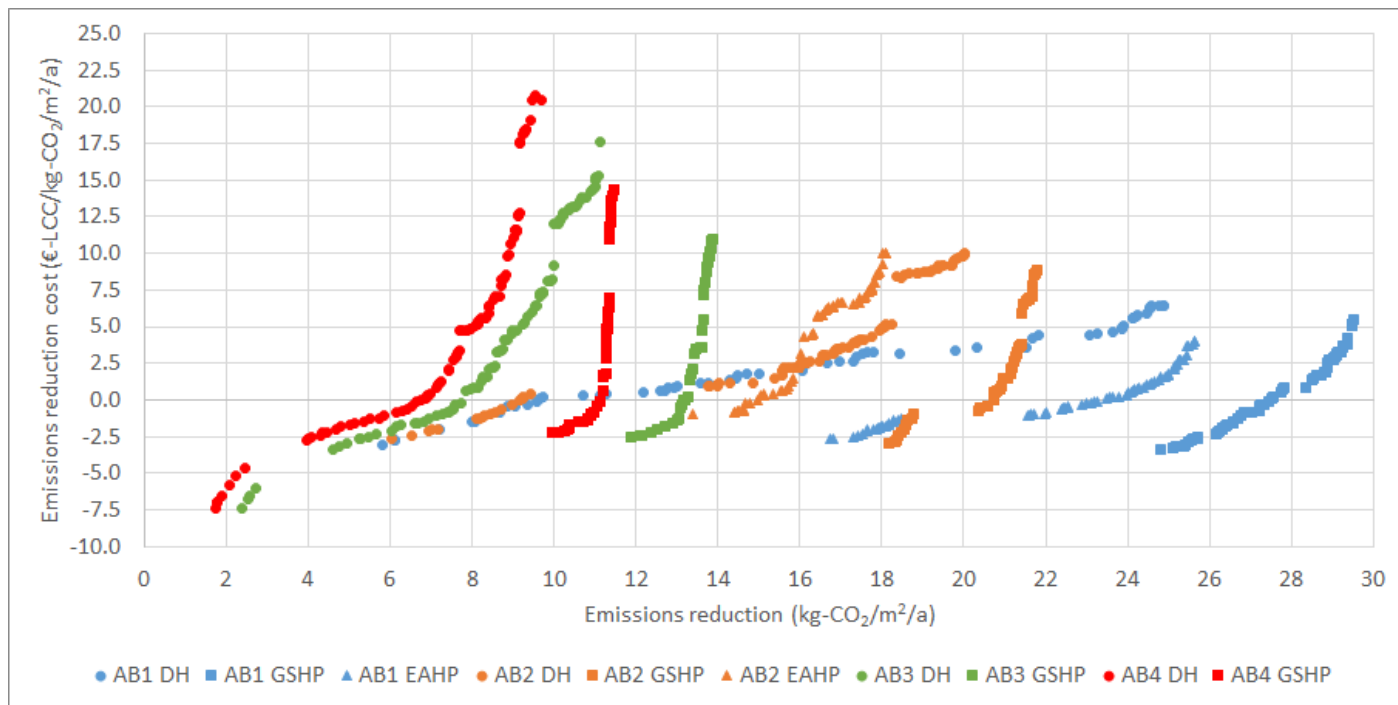
Kaikki talotyyppit ja lämmitysjärjestelmät: Päästöt vs. elinkaarikustannus



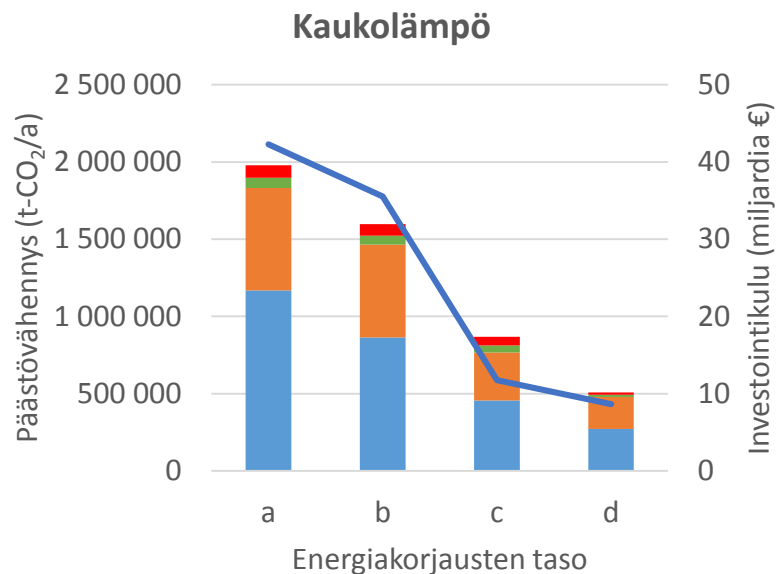
Kaikki talotyytit ja lämmitysjärjestelmät: Päästöt vs. elinkaarikustannus



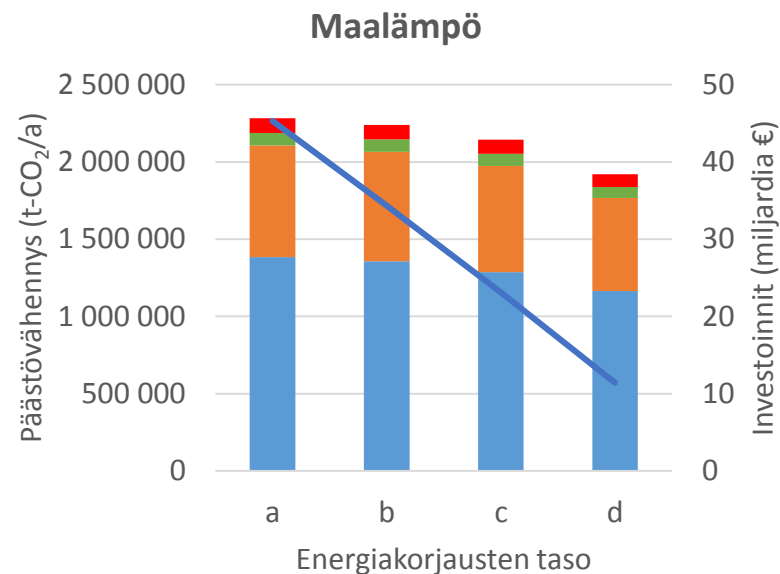
Kaikki talotyytit ja lämmitysjärjestelmät: Päästövähennys vs. vähennyksen hinta



Vaikutus koko kerrostalokannassa



AB1 AB2 AB3 AB4 Investointikulu



AB1 AB2 AB3 AB4 Investointikulu

Johtopäätöksiä

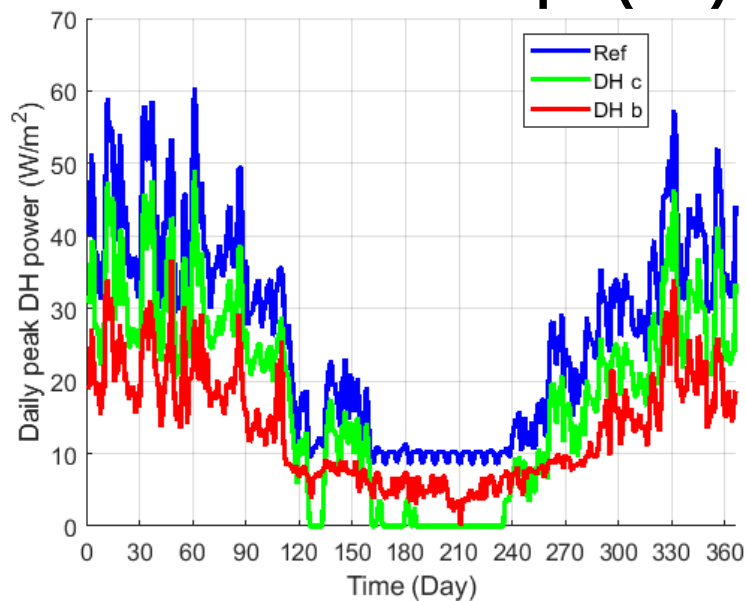
- **Päästövähennyspotentialiaali (AB1): 17 – 86%**
 - Energiakorjauksen investointikulu: 122 - 545 €/m²
 - *Kustannusneutraali (AB1 KL): -28% päästöt, 156 €/m²*
 - *Kustannusneutraali (AB1 MLP): -80% päästöt, 296 €/m²*
 - Tyypillisen putkiremontin kustannus: 250 – 1200 €/m²
- **Kerrostalokannassa 0,5 – 2,3 Mt-CO₂/a vähennyspotentialiaali**
 - 10 – 40 miljardin euron investointi
- **Jäteveden LTO lähes aina kannattavaa**
- **Seinien lisäeristys kannattavaa vain vanhimmissa taloissa**
- **Tarpeenmukainen ilmanvaihto hyvin kannattavaa, jos talossa on tulo-poistoilmanvaihto**
- **Aurinkosähkö aina kustannustehokasta**

Lämpöpumppujen merkitys

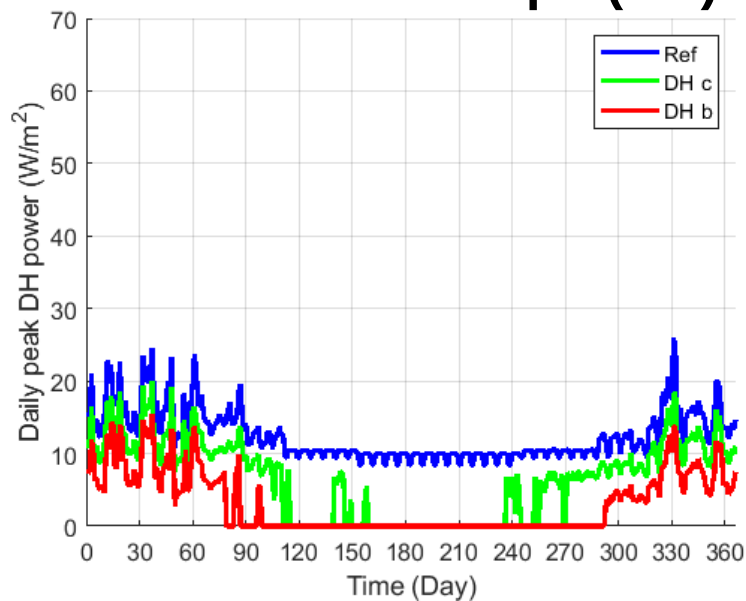
- **Lämpöpumpuilla kustannustehokkaasti suuret päästövähennykset**
 - Sähkön pieni päästökerroin
- **Yksi rakennus vs. rakennuskanta**
 - Vaikutus sähköverkkoon ja huipputuotannon tarpeeseen
 - Huipputuotannon päästökerroin suuri
 - *Suuri tehonlisäys sähkönkulutuksessa voi mitätöidä lämpöpumppujen hyödyt!*

Päivittäinen huipputeho: kaukolämpö

AB1 – Kaukolämpö (DH)

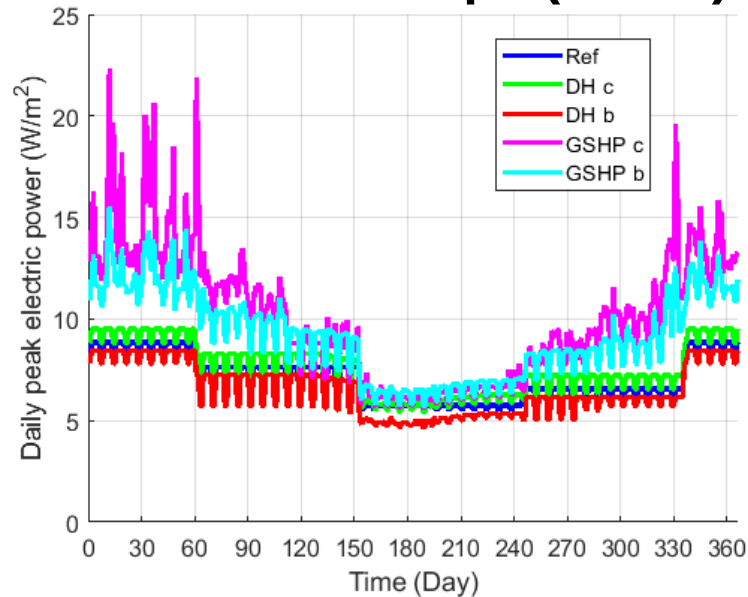


AB4 – Kaukolämpö (DH)

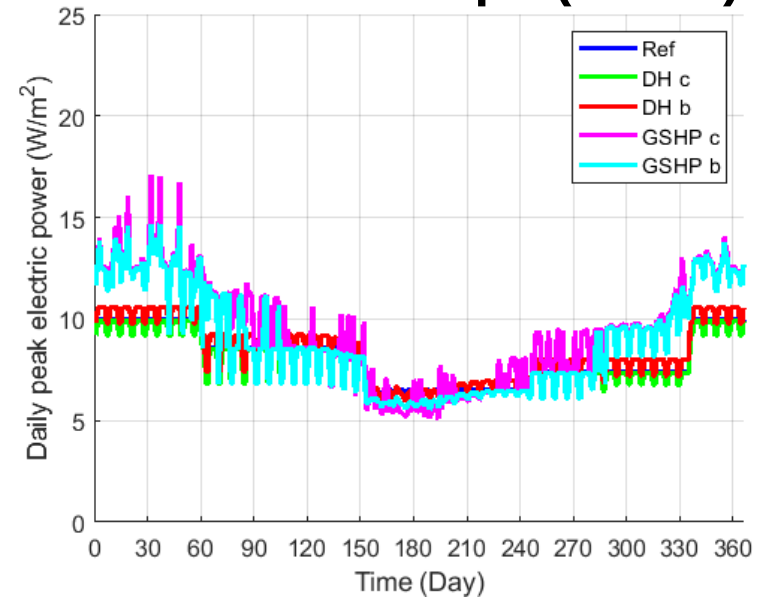


Päivittäinen huipputeho: sähkö

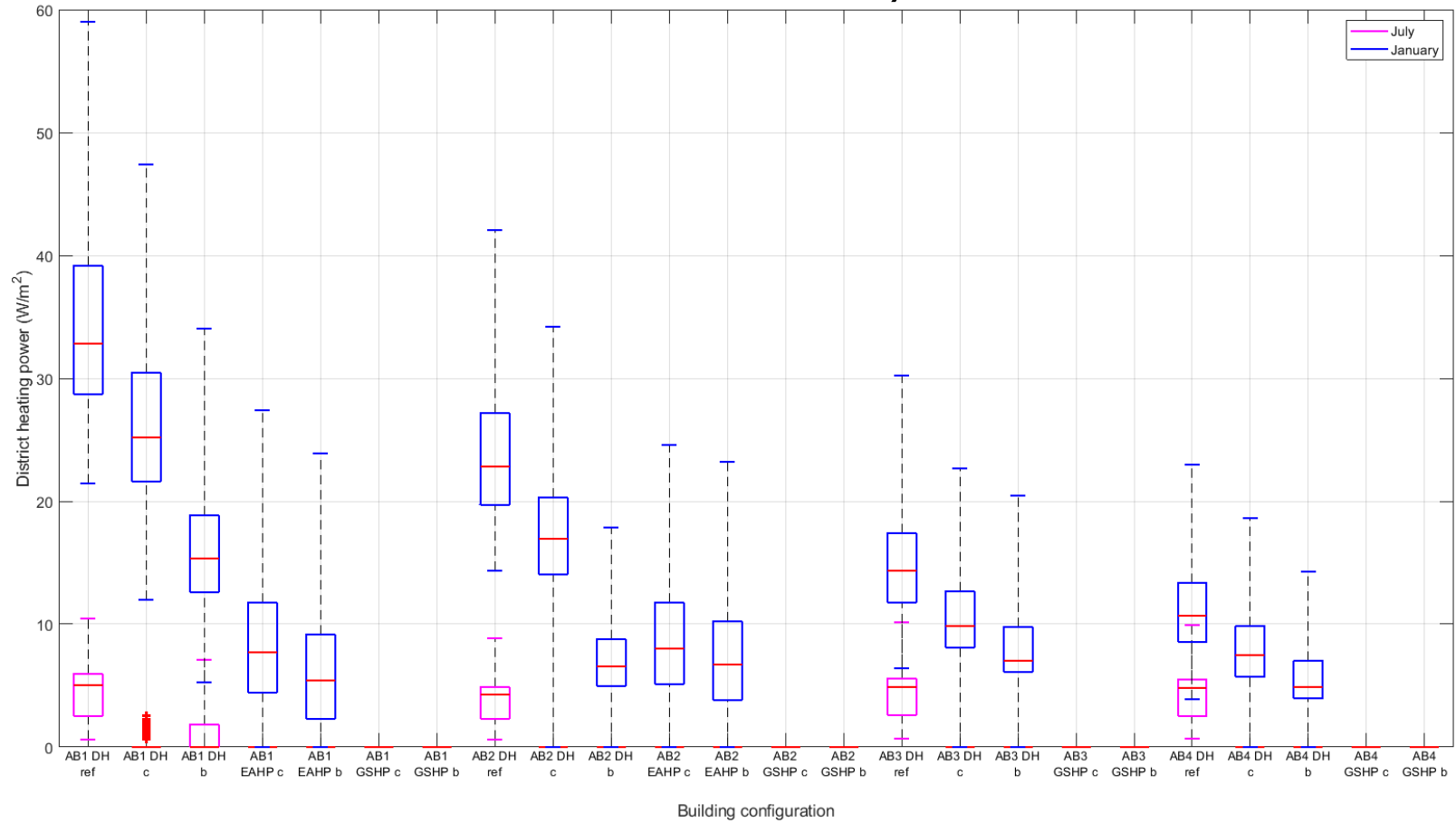
AB1 – Maalämpö (GSHP)



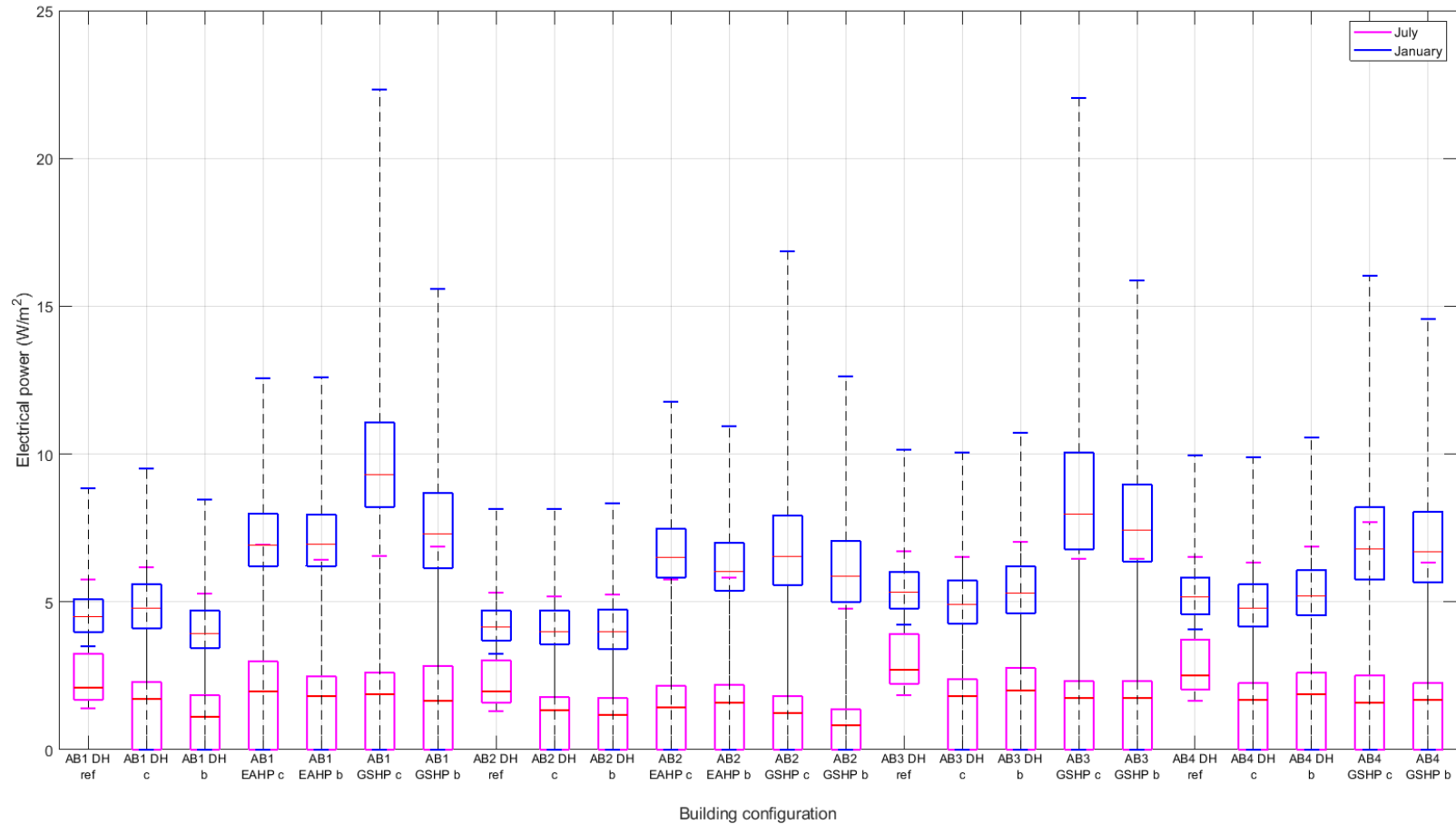
AB4 – Maalämpö (GSHP)



Kaukolämmön tehonvaihtelu, kesä vs. talvi



Sähkön tehonvaihtelu, kesä vs. talvi



Energia vs. teho

	Kaukolämpöenergian muutos (%)		Kaukolämmön huipputehon muutos (%)		Sähköenergian muutos (%)		Sähkön huipputehon muutos (%)	
Tapaus	Tammikuu	Heinäkuu	Tammikuu	Heinäkuu	Tammikuu	Heinäkuu	Tammikuu	Heinäkuu
Ref: AB1 KL								
AB1 KL – c	-22.2	-99.3	-19.7	-75.5	+5.1	-31.2	+7.6	+7.4
AB1 KL – b	-53.1	-76.0	-42.4	-32.1	-11.0	-51.6	-4.4	-8.4
AB1 PILP – c	-74.5	-100	-53.6	-100	+52.4	-20.4	+41.9	+20.8
AB1 PILP – b	-81.2	-100	-59.6	-100	+53.3	-26.6	+42.5	+11.5
AB1 MLP – c	-100	-100	-100	-100	+107.7	-26.1	+152.5	+14.1
AB1 MLP – b	-100	-100	-100	-100	+58.6	-24.2	+76.1	+19.2
Ref: AB4 KL								
AB4 KL – c	-28.1	-100	-18.9	-100	-6.4	-45.2	-0.6	-2.7
AB4 KL – b	-49.1	-100	-37.9	-100	+0.5	-37.7	+6.1	+5.1
AB4 MLP – c	-100	-100	-100	-100	+32.3	-45.5	+61.1	+18.2
AB4 MLP – b	-100	-100	-100	-100	+30.1	-45.2	+46.3	-2.7

- **Korjausten vaikutus**
 - **Kaukolämpö**
 - *Lämpöenergia pienenee enemmän kuin teho*
 - **PILP**
 - *Sähköenergian tarve kasvaa enemmän kuin huipputehon tarve*
 - **MLP**
 - *Huipputehon tarve kasvaa enemmän kuin energian tarve*

Johtopäätöksiä

- **Energiatehokkuus voi vähentää merkittävästi energian ja tehon tarvetta**
 - Vaikutus energiaan ja huipputehoon on erilainen
- **Vaihtaminen kaukolämmön maalämpöön kasvattaa sähkön huipputehon tarvetta**
 - Sähkön marginaalipäästöt saattavat kasvaa
- **Muutos kaukolämmitettyjen talojen AB1, AB2, AB3 & AB4 lämmönkulutuksessa (korjaustaso b)**
 - Huipputehon vähennys
 - 42, 58, 32 & 38%
 - Lämmitysenergian säästö
 - 53, 70, 45 & 49%

Julkaisut

- **Towards the EU emissions targets of 2050: optimal energy renovation measures of Finnish apartment buildings**
 - Janne Hirvonen, Juha Jokisalo, Juhani Heljo, Risto Kosonen
 - International Journal of Sustainable Energy (2018)
 - <https://doi.org/10.1080/14786451.2018.1559164>
- **Effect of apartment building energy renovation on hourly power demand**
 - Janne Hirvonen, Juha Jokisalo, Juhani Heljo, Risto Kosonen
 - International Journal of Sustainable Energy (Julkaistaan 2019)